

УДК 686.1.027

© Палюх О. О., к.т.н., доцент, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

### МОДЕЛЮВАННЯ КУТОВОГО ЗСУВУ ОКАНТОВУВАЛЬНОЇ КЛЕЙОВОЇ ПОЛІМЕРНОЇ ПЛАСТИНИ КНИЖКОВОГО БЛОКУ ЗШИТОГО НИТКАМИ

*The magnitude of deformation of individual sections of the root adhesive polymeric plate, in the process of loading book blocks, sewn with threads, depends not only on the elastic properties of the material of the adhesive composition, its isotropy, the thickness of the applied layer, but also on the angles of bending of the plate bends, stresses of the internal structure.*

*The stresses occur at the edges of the adhesive plate joints with the paper folds of the book notebooks on one side and the edging paper on the other, in the form of compression and stretching sections at discrete bending points.*

*The time of loading, in these areas, proportionally affects the reduction of the elastic properties of the plate and the development of the phenomena of residual plastic deformation.*

Використання клейових полімерних композицій з високою адгезією та високою липкістю для окантовування книжкових блоків, зшитих нитками, забезпечує міцне і еластичне скріплення корінцевої частини сфальцьованих зошитів і дозволяє забезпечити довготривалу експлуатаційну стійкість книжкових блоків виготовлених із різних видів паперу.

Зміна властивостей клейових композицій під час довготривалих дискретних перегинань корінцевої частини книжкових блоків, у процесі читання, призводить до утворення руйнівних дефектів та втрати цілісності окантовувальної клейової пластини, що до моменту повного руйнування в окремих місцях неякісного з'єднання корінця блоку - втрата цілісності не визначається, обмежуючи можливості, на етапах утворення початкових дефектів, застосувати засоби відновлювального ремонту клейової пластини.

Враховуючи експлуатаційні дослідження показників кутowego зсуву при перегинаннях клейової полімерної пластини корінцевої частини книжкового блоку, зшитого нитками, виявити особливості у змінах геометричних розмірів корінцевої клейової пластини в залежності від кутів перегинання.

Відомо, що для врахування особливостей технологічного виготовлення книжкової продукції необхідно враховувати основні види руйнувань книги, що виникають під час довготривалого їх використання [1]. Руйнування корінцевої клейової пластини, утвореної в технологічному процесі окантовування книжкового блоку, є одним із найбільш поширених дефектів використання книжкової продукції під час її довготривалої експлуатації.

Особливості технологічного процесу окантовування книжкових блоків обумовлюють специфічні вимоги до властивостей термоклеїв, що обмежують можливості їх застосування [2,3,4,5,6].

Операції нанесення клею, приклеювання окантовувального матеріалу до корінця, загинання і приклеювання його до форзаців, у процесі окантовування, здійснюється протягом технологічно визначеного проміжку часу, під час якого властивості клею (розплаву) повинні залишатися незмінними, інакше, при нанесенні термоклею на поверхню матеріалу, чи на кінець блока знижуються його адгезійні властивості та здатність проникати в пори, що сприятиме пришвидшенню втомно-руйнівних експлуатаційних процесів і скороченню періоду використання книжкової продукції.

Для визначення довговічності видань і підвищення їх міцності важливими є дослідження механізму термічної деструкції клеїв. Диференційно-термічний аналіз клеїв показує зміну їх молекулярної маси залежно від температури і ступеня деструкції, швидкості процесів руйнування структури полімерів.

Теоретичні засади квалілогії книги, а також врахування специфіки скріплення книжкових блоків, зшитих нитками, сприяють визначенню конструктивно-технологічних властивостей елементів книжкових видань особливо важливими при оцінюванні експлуатаційних показників: довговічності, міцності, читабельності, естетичності - зовнішнього та внутрішнього оформлення.

Моделювання деформації клейового шару корінцевої частини книжкового блоку, зшитого нитками, сприяє дослідженню впливу кутів перегинань полімерної клейової пластини, в процесі експлуатації книжкової продукції, які сприяють створенню зон змінної концентрації руйнівних напружень внутрішньої структури пластини, а також впливу часу дії навантажень на цих ділянках, що пропорційно впливає на зменшення пружних властивостей пластини і розвитку явищ залишкової пластичної деформації.

Відомо, що для технологічно визначеного зносостійкого скріплення корінцевої частини книжкових блоків, зшитих нитками, а також набуття експлуатаційної міцності з'єднання вагому роль відіграють операції нанесення клейових композицій на корінець та наклеювання окантовувальних матеріалів, з метою надання стійкості блоку до кутового зсуву і закріплення стандартизованої форми корінцевої частини, утвореної під час підготовки блоків до окантовувальних процесів, що має зберігати незмінний конструктивний вигляд впродовж втомно-руйнівного періоду довготривалого використання.

Зміцнення корінцевої частини книжкових блоків, що складаються із попередньо підібраних і сфальцьованих зошитів, зшитих нитками, за допомогою клейових композицій, дозволяє фізико-хімічними засобами утворювати цілісну систему із кількох матеріальних складових таких, як папір книжкового блоку з різноманітними структурними особливостями: палітурні нитки, що у процесі зшивання блоку створюють на поверхні напівкруглих фальців зошитів дискретну структуру з попереднім натягом, клейові композиції, рецептурний склад яких сприяє адгезійній взаємодії і адгезійній міцності між компонентами з'єднання, а також окантовувальний папір підвищеної міцності і пластичності [7].

Експлуатаційна міцність клейового з'єднання, його надійність і довготривалість залежить від дотримання умов належного контакту між поверхнею Ш-подібного корінця книжкового блоку (субстрату) і клейовою композицією (адгезиву), що наноситься на корінцеву частину блоку і сприятиме міцному зчепленню в зоні контакту поверхонь паперу блоку і окантовувального клею, обумовленому утворенням адгезійного зв'язку за рахунок дії міжмолекулярних сил різнорідних поверхонь.

Створення сприятливих умов технологічного процесу формування когезійної міцності нанесеного шару клейової композиції перетворює шар клею на тонку полімерну пластину, в яку з однієї сторони імплантована просторова сітка із палітурних ниток, за допомогою яких зшивалась корінцева частина книжкового блоку, а з іншої - окантовувальний папір для надання додаткової міцності клейовому з'єднанню.

Формування з початкового технологічного клейового розплаву окантовувальної полімерної плівки супроводжується явищами мікрореологічної адгезії заповнення капілярів, пор, тріщин пористої поверхні паперу книжкових блоків, за рахунок чого збільшується площа контактів клейової композиції із корінцевою частиною блоку, що сприяє зростанню адгезійної міцності.

Для забезпечення сприятливих умов здійснення мікрореологічної адгезії при утворенні окантовувального клейового з'єднання книжкового блоку, формується селективне підбирання в'язкості клею від якої, в значній мірі, залежить міцність цього з'єднання.

Застосування клейових композицій для скріплення книжкових блоків різних форматів, різної товщини, з різноманітними видами паперу має враховувати необхідні особливості нанесення клею, що мають забезпечити високу адгезію до виду паперу блоку. Полімерна плівка, утворена в результаті подальшої полімеризації клею, після нанесення його на корінець і закріплення, має забезпечити відносне видовження при експлуатації виробу менше або таке, що дорівнює відносному видовженню використаного в блоці паперу, а також

забезпечити значно вищі показники еластичності та міцності на розрив, ніж паперу сфальцьованих корінців зошитів, зшитих нитками.

Необхідно мати на увазі, що експлуатаційні особливості використання книжкової продукції, у якій блоки зшиті нитками і окантовані клейовими композиціями, і які полягають у багаточисельних послідовних дискретних, або випадкових стохастичних перегинаннях корінця блоку при перегортанні сторінок, у зусиллях, в широких межах прикладених до різних місць перегинання корінцевої частини, для досягнення максимального розкриття блоку, наближеного до кутів у  $180^0$ , що забезпечує комфортне читання, поступово призводять до руйнування адгезійних зв'язків і поступового погіршення працездатності корінцевої клейової композитної структури.

Враховуючи те, що довготривалі та багаточисельні перегинання корінцевої частини книжкового блоку потребують нанесення не тільки міцної клейової композиції, але і максимально еластичної – вибір клею, для забезпечення достатньої міцності клейового з'єднання, необхідно здійснювати відповідно призначенню цього з'єднання, з урахуванням максимальної кількості вимог, що пред'являються в процесі виготовлення кожного виду книжкової продукції та подальшої її експлуатаційної довговічності.

На Рис.1,а. зображений змодельований переріз Ш-подібної полімерної клейової пластини, утвореної під час технологічного процесу окантовування книжкового блоку, зшитого нитками.

Пластина відтворює форму геометричного аorchного склепіння корінця розкритої посередині книги, у якій виділені клиновидні ділянки клею, з увігнутими поверхнями в міжкорінцевому просторі зошитів та місця дискретного перегинання клейової пластини (Рис.1, б), що разом враховуються, як характерні ознаки, в дослідженні експлуатаційних особливостей втомного руйнування клейової композиції.

Під час перегортання сторінок у числовій послідовності, поступово змінюється конфігурація аorchного склепіння і змінюється просторова відстань клейової полімерної пластини від першої сторінки до останньої, що до початку перегортання складає  $L$  мм а мінімально можлива, при розкриванні блоку посередині, -  $L_{\min}$  мм .

Перегинання пластини від початкової максимальної просторової довжини до мінімальної довжини підстави аorchного склепіння фіксується розмірами умовного корінцевого шарніра блоку [1] з визначальним розмірним показником шпациї книжкової оправи, яка виготовлена для книжкового блоку.

Висота максимального можливого просторового перегинання клейової пластини  $H_{\max}$  мм (вершина правильного аorchного склепіння) (Рис.1, б) на відміну від висоти початкового клейового шару  $H$  мм (Рис.1,а), впродовж експлуатаційного періоду змінюється в сторону зменшення через поступове втомне руйнування клейової композиції і втрату ознак геометричної подоби аorchного склепіння.

Для наочності моделювання кутової деформації полімерної корінцевої пластини книжкового блоку розглянемо кутові переміщення пластини при перегортанні тільки зошитів блоку, зшитого нитками, враховуючи, що для перегортання сторінок блоку, виявлений процес кутової деформації буде тотожним - лише збільшиться кількість розглядуваних варіантів, що залежатиме від кількості сторінок у блоці.

В першу чергу, кутова деформація - деформація зсуву  $\gamma$  полімерної пластини, прикладені зусилля під час послідовно-впорядкованого перегортання зошитів і дія, в результаті цього, процесу втомного руйнування пластини в кожній позиції, позначеній на Рис.1,а, як точки a,b,c,o,d...i, залежить від часу знаходження кожної дискретної точки пластини в перегнутому стані під час читання, формуючі різні, за чисельними показниками, руйнівні дефекти:

- при перегинанні полімерної пластини в точці a на кут  $\alpha_1$  при перегортанні 1-го зошита - час знаходження під дією експлуатаційних зусиль складе  $t_1 = \tau_1$ ;

- при перегинанні полімерної пластини в точці  $b$  на кут  $\alpha_2$  при перегортанні 2-го зошита - час знаходження під дією експлуатаційних зусиль складе  $t_1 + t_2 = \tau_2$ ;

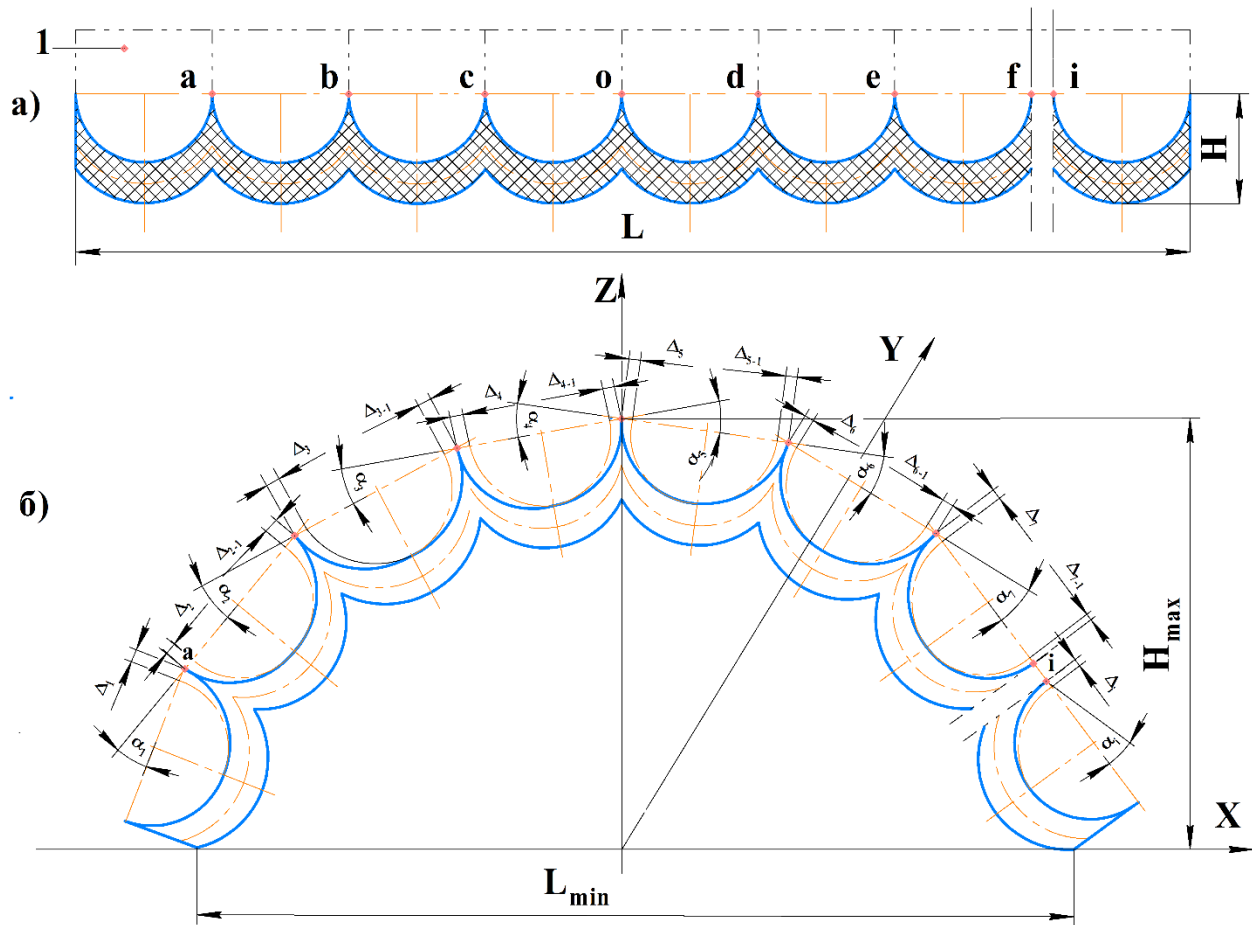


Рис.1. Зміна геометричних розмірів клейової пластини в залежності від кутів перегинання: 1-фрагменти корінцевої частини сфальцьованих книжкових зошитів

- при перегинанні ... в точці  $c$  на кут  $\alpha_3$  при перегортанні 3-го зошита час ... складе  $t_1 + t_2 + t_3 = \tau_3$ ;
- при перегинанні ... в точці  $o$  на кут  $\alpha_4$  при перегортанні 4-го зошита час ... складе  $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = \tau_4$ ;
- при перегинанні ... в точці  $i$  на кут  $\alpha_i$  при перегортанні  $i$ -го зошита час ... складе  $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots + t_i = \tau_i$ ,

де  $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = \dots = t_i$  при однаковому темпі читання і рівномірності перегортання зошитів;

- $i$   $t_1 \neq t_2 \neq t_3 \neq t_4 \neq \dots \neq t_i$  при нерівномірному перегортанні зошитів в стохастичній послідовності.

Отже, частково, деформацію  $\gamma$  кутового зсуву корінцевої клейової полімерної пластини в місцях експлуатаційних дискретних перегинань, можливо представити, як функцію від часу у вигляді:

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| - $\gamma_1 = f'(t_1) = f'(\tau_1)$ ;                   | $\gamma_1 = f'(\tau_1)$ ; |
| - $\gamma_2 = f'(t_1 + t_2) = f'(\tau_2)$ ;             | $\gamma_2 = f'(\tau_2)$ ; |
| - $\gamma_3 = f'(t_1 + t_2 + t_3) = f'(\tau_3)$ ;       | $\gamma_3 = f'(\tau_3)$ ; |
| - $\gamma_4 = f'(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) = f'(\tau_4)$ ; | $\gamma_4 = f'(\tau_4)$ ; |

$$\gamma_i = f'(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + \dots + t_i) = f'(\tau_i); \quad \gamma_i = f'(\tau_i).$$

Відомо, що кутова деформація  $\gamma$  є границею зміни кута між двома довільно обраними відрізками в тілі при прикладенні навантаження, коли довжини цих відрізків прямують до нуля [8] і може бути записана у вигляді:

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x}; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}; \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x},$$

де  $\vec{u}$  – компоненти вектора переміщень для усіх точок тіла.

В процесі дискретних перегинань корінцевої клейової полімерної пластини (Рис.1) в околі точок a,b,c,o,d,e,f...i (Рис.1,a), що знаходяться на вершинах клиновидних припливів клею, орієнтованих між зошитами послідовної нумерації, можливо спостерігати процес кутового зсуву пластини та зміни геометричних розмірів її напівкруглих ділянок, утворених напівкруглими фальцями корінцевої частини зошитів:

- перегинання пластини в околі точки a на кут  $\alpha_1$  призводить до деформації 1-ої ділянки і зміни її геометричних розмірів на  $\Delta_1$ ;

$$\gamma_{(\Delta 1)xy} = \frac{\partial u_{(\Delta 1)x}}{\partial y} + \frac{\partial u_{(\Delta 1)y}}{\partial x}; \quad \gamma_{(\Delta 1)yz} = \frac{\partial u_{(\Delta 1)y}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 1)z}}{\partial y}; \quad \gamma_{(\Delta 1)xz} = \frac{\partial u_{(\Delta 1)x}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 1)z}}{\partial x},$$

- перегинання пластини в околі точки b на кут  $\alpha_2$  призводить до деформації 2-ої ділянки і зміни її геометричних розмірів на  $\Delta_2 + \Delta_{2+1}$ ;

$$\gamma_{(\Delta 2+\Delta(2+1))xy} = \frac{\partial u_{(\Delta 2+\Delta(2+1))x}}{\partial y} + \frac{\partial u_{(\Delta 2+\Delta(2+1))y}}{\partial x};$$

$$\gamma_{(\Delta 2+\Delta(2+1))yz} = \frac{\partial u_{(\Delta 2+\Delta(2+1))y}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 2+\Delta(2+1))z}}{\partial y};$$

$$\gamma_{(\Delta 2+\Delta(2+1))xz} = \frac{\partial u_{(\Delta 2+\Delta(2+1))x}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 2+\Delta(2+1))z}}{\partial x};$$

- перегинання пластини в околі точки c на кут  $\alpha_3$  призводить до деформації 3-ої ділянки і зміни її геометричних розмірів на  $\Delta_3 + \Delta_{3+1}$ ;

$$\gamma_{(\Delta 3+\Delta(3+1))xy} = \frac{\partial u_{(\Delta 3+\Delta(3+1))x}}{\partial y} + \frac{\partial u_{(\Delta 3+\Delta(3+1))y}}{\partial x};$$

$$\gamma_{(\Delta 3+\Delta(3+1))yz} = \frac{\partial u_{(\Delta 3+\Delta(3+1))y}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 3+\Delta(3+1))z}}{\partial y};$$

$$\gamma_{(\Delta 3+\Delta(3+1))xz} = \frac{\partial u_{(\Delta 3+\Delta(3+1))x}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 3+\Delta(3+1))z}}{\partial x};$$

- перегинання пластини в околі точки o на кут  $\alpha_4$  призводить до деформації 4-ої ділянки і зміни її геометричних розмірів на  $\Delta_4 + \Delta_{4+1}$ ;

$$\gamma_{(\Delta 4+\Delta(4+1))xy} = \frac{\partial u_{(\Delta 4+\Delta(4+1))x}}{\partial y} + \frac{\partial u_{(\Delta 4+\Delta(4+1))y}}{\partial x};$$

$$\gamma_{(\Delta 4+\Delta(4+1))yz} = \frac{\partial u_{(\Delta 4+\Delta(4+1))y}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 4+\Delta(4+1))z}}{\partial y};$$

$$\gamma_{(\Delta 4+\Delta(4+1))xz} = \frac{\partial u_{(\Delta 4+\Delta(4+1))x}}{\partial z} + \frac{\partial u_{(\Delta 4+\Delta(4+1))z}}{\partial x};$$

- перегинання пластини в околі точки i на кут  $\alpha_i$  призводить до деформації i-ої ділянки і зміни її геометричних розмірів

$$\text{на } \Delta_i.$$

$$Y_{(\Delta i)xy} = \frac{\partial U_{(\Delta i)x}}{\partial y} + \frac{\partial U_{(\Delta i)y}}{\partial x}; \quad Y_{(\Delta i)yz} = \frac{\partial U_{(\Delta i)y}}{\partial z} + \frac{\partial U_{(\Delta i)z}}{\partial y}; \quad Y_{(\Delta i)xz} = \frac{\partial U_{(\Delta i)x}}{\partial z} + \frac{\partial U_{(\Delta i)z}}{\partial x},$$

Негативний вплив дискретних кутових перегинань корінцевих клейових полімерних пластин в будь-якій її частині та неоднорідність тривалості навантажень в процесі експлуатації книжкової продукції призводять до деформації, що утворюється під час перегинань пластини і сприяє пришвидшеному перетворенню процесів пружної деформації на залишкові процеси пластичної деформації.

Застосування клейових композицій високої міцності та високої еластичності, у яких відсутній від'ємний вплив на жорсткість і вигинаючу стійкість склеюваної системи, недоліки кутового зсуву можливо звести до мінімуму, що в свою чергу забезпечить подовжений експлуатаційний період та сприятливий конкурентоспроможний вигляд книжкової продукції.

Отримані результати проведених досліджень створюють передумови економного використання палітурних клеїв для окантовування книжкових блоків, зшитих нитками, і мінімізації впливу факторів втомного руйнування, викликаних проявами незворотних явищ пластичної деформації.

Перелік посилань:

- 1.Палюх О.О. Експериментальне визначення впливу палітурних клеїв на утворення природних кутів розкривання книжкових блоків / О.О.Палюх // Технологія і техніка друкарства.- 2018, №1. С 37-47.
- 2.Гавенко С.Ф. Кинетика пошкодження і руйнування клейових з'єднань при експлуатації / С.Ф. Гавенко // Поліграф. І вид. справа.- 2012, №3. С.91-96.
- 3.Гавенко С.Ф. Дослідження факторів впливу на кути розкривання книжкових блоків / С.Ф. Гавенко, І.Ю. Логазяк., Л.В. Туряб// Технологія і техніка друкарства.- 2012, №1. С. 67-73.
- 4.Гавенко С.Ф. Технологія позошитного скріплення нитками книжкових блоків /С.Ф.Гавенко, І.Ю.Логазяк. - Львів : УАД, 2012.-168 с.
- 5.Гавенко С.Ф. Технологія та обладнання для мікрохвильового висушування книжкових блоків /С.Ф.Гавенко, Г.М.Йордан. - Львів: УАД, 2012. – 144 с.
- 6.Гавенко С.Ф. Технологія окантовування корінців книжкових блоків /С.Ф.Гавенко, Л.Й.Кулик, Г.М.Йордан. – Львів: УАД, 2018. – 92 с.
- 7.Лазаренко Е.Т. Поліграфічні матеріали, /Жидецький Ю.Ц., Лазаренко Е.Т. Лотошинська Н.Д.//Афіша – Львів, 2000.
- 8.Кутовий Л.В. Опір матеріалів /Л.В.Кутовий, Т.П.Зінченко, В.А.Овчаренко. – Краматорськ: 2007. – Ч.1. ДДМА – 196 с.